

INTRODUCCIÓN

Difícilmente podrá encontrarse una actividad, técnica o no, que no implique algún elemento o circuito de conmutación.

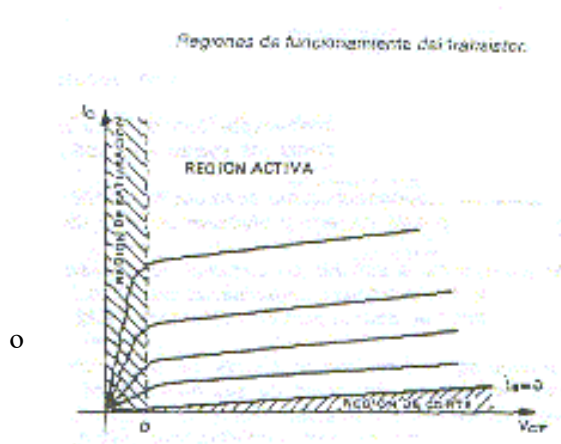
Los circuitos de conmutación se caracterizan por funcionar de modo binario, es decir, utilizan dispositivos mediante los cuales solo son posibles dos estados.

La misión de un dispositivo funcionando como conmutador, consiste en dejar pasar la corriente cuando está cerrado y bloquear su paso cuando está abierto.

Aunque existe cierta tendencia a asociar los circuitos de conmutación con componentes eléctricos y electrónicos, muchas aplicaciones industriales trabajan con dispositivos de conmutación no eléctricos: hidráulicos y neumáticos.

1. TRANSISTOR BIPOLAR

Los circuitos de conmutación son aquellos que actúan como conmutador o conjunto de conmutadores, cuyas señales de salida pueden ser exclusivamente activo (sí) o inactivo (no).



Son tres los montajes básicos que podemos realizar con un transistor NPN o PNP y para cada uno de ellos es posible obtener unas curvas características de salida.

Analizando las curvas características podemos distinguir tres regiones de trabajo: CORTE, ACTIVA Y SATURACIÓN. El funcionamiento en la región activa proporciona la acción normal del transistor, obteniéndose amplificación con una distorsión mínima. La extensión del funcionamiento a las regiones de corte saturación produce una distorsión grave en la forma de limitación. Sin embargo, cuando se utiliza el transistor como conmutador, el funcionamiento se lleva usualmente a las regiones de saturación y de corte.

1.1 El transistor bipolar como conmutador estados ON y OFF.

El funcionamiento del transistor en cada una de las posibles regiones de las curvas I_C - V_{CE} , se determina, en líneas generales, por las condiciones de polarización de los diodos de emisor y colector que forman el transistor.

REGIÓN DE FUNCIONAMIENTO	POLARIZACIÓN DEL DIODO	
	EMISOR	COLECTOR
CORTE	INVERSA	INVERSA
ACTIVA	DIRECTA	INVERSA
SATURACIÓN	DIRECTA	DIRECTA

Como existen diversas regiones de funcionamiento del transistor, y se pretende hacerle funcionar en modo conmutador, será posible establecer diversas combinaciones que permitan distinguir entre los estados necesarios ON y OFF. Estos modos de funcionamiento pueden ser los siguientes:

1. Estado ON.....Transistor saturado.
Estado OF.....Transistor cortado.
2. Estado ON.....Transistor en activa.
Estado OF.....Transistor en corte.
3. Estado ON.....Transistor en activa.
Estado OF.....Transistor en activa.

Los modos de los apartados 1 y 2 son los mas utilizados, ya que el apartado 3 precisa de unas condiciones de diseño más exigentes al tener que discriminar entre dos valores de salida, estando funcionando el transistor siempre en la región activa.

Los circuitos digitales que operan bajo las condiciones del apartado 1 se denominan "circuitos de conmutación saturantes", debido a que el estado ON se determina por el transistor funcionando en la región de saturación. Por el contrario, los del apartado 2 se denominan no saturantes, al no llegar a saturación el transistor en estado ON.

1.2 Condiciones de funcionamiento.

De las consideraciones de funcionamiento de un transistor de conmutación en el estado off se llega a la conclusión siguiente:

Las intensidades de corriente en los terminales son despreciables, por lo que las tensiones entre los pares de terminales están determinadas únicamente por el circuito exterior asociado al transistor. Estas tensiones determinan las cargas de las capas de carga espacial en las uniones.

El estado ON del transistor conmutador corresponde al funcionamiento de la región activa o de saturación; la unión de emisor estará polarizada en directo y la de colector en inverso o en directo respectivamente.

En el caso de transistor saturado, todas las tensiones entre los pares de terminales son pequeñas y su dependencia con las intensidades en los terminales es mínima, estando éstas determinadas principalmente por el circuito asociado al transistor.

Valores característicos del transistor entre sus pares de terminales en ambos estados:

Transistor cortado: $V_{CE}=V_{BAT}$.

Transistor en activa: $V_{CE}=V_{EB}=0,5 \text{ A}, 0,7 \text{ V}$

Transistor en saturación: $V_{CE}=V_{Cesat}=0,2 \text{ V}$ $V_{EB}=0,5 \text{ a } 0,7 \text{ V}$

Las corrientes en los terminales están determinadas principalmente por el circuito en el que se encuentra el transistor.

Por último conviene exponer la relación que debe existir entre las corrientes del transistor, para asegurar su funcionamiento en la región de saturación. Se debe cumplir que $\beta_F = I_B/I_C \geq 1$; o bien $\beta_F \cdot I_B > I_C$. Siendo $\beta_F = h_{FE}$ (ganancia de corriente en cortocircuito en emisor común).

1.3 Transmisión entre estados.

Para conmutar un transistor (PNP, por ejemplo) al estado ON debemos suministrar carga a la región de base. Se requiere ésta para neutralizar las cargas de la capa de carga espacial que corresponde al estado OFF y para establecer una carga en exceso en la región de la base, suficiente para poder mantener cualquier corriente colectora solicitada por el circuito cuando el transistor está en ON. Inversamente, para conmutar un transistor al estado OFF debemos extraer toda la carga en exceso de la región de base y carga suficiente de las capas de carga espacial, para que las uniones puedan soportar las tensiones solicitadas por el circuito cuando el transistor está en OFF.

De las consideraciones anteriores sobre el mecanismo puesto en juego para realizar la conmutación entre estados se deduce que dicha transición no puede ser instantánea. Es necesario emplear un tiempo en inyectar o extraer cargas en la base, al que hay que sumar otros tiempos, de los cuales el más significativo es el de recarga de las capacidades inevitables existentes en el transistor y conexiones metálicas.

El tiempo t_{ON} esta compuesto por los tiempos t_d y t_r .

$$t_{ON}=t_d+t_r$$

t_d = tiempo necesario para que la unión de emisor llegue a estar polarizada en directo.

t_r = intervalo de tiempo entre el momento en que la unión de emisor tiene polarización directa y el instante en que el transistor entra en saturación. O bien el tiempo que tarda el colector en pasar del 10 al 90% de su valor.

El t_{off} esta compuesto por dos tiempos t_s y t_f :

$$t_{off} = t_s + t_f$$

t_s = intervalo de tiempo durante el cual se extraen de la base los portadores en exceso, que termina cuando la unión colectora deja de estar polarizada en directo; el transistor abandona la región de saturación y entra en la activa.

t_f = intervalo de tiempo desde que la corriente del colector empieza a disminuir.

2. CIRCUITOS MULTIVIBRADORES.

A) Circuito biestable.

Un circuito biestable es el que puede permanecer indefinidamente en cualquiera de sus estados estables de funcionamiento y que puede ser inducido a realizar una transmisión brusca de uno a otro estado mediante una excitación exterior.

B) Circuito monoestable.

El circuito monoestable tiene un solo estado estable permanente en otro estado en otro estado semiestable. En la configuración monoestable se requiere una señal de disparo para producir una transmisión del estado estable al semiestable. El circuito puede mantenerse en su estado semiestable durante un tiempo muy grande en comparación con el tiempo de transito entre ambos estados. Finalmente, sin embargo, el circuito volverá a su estado estable sin necesitar ninguna señal exterior para producir esta inversión.

C) Circuito estable.

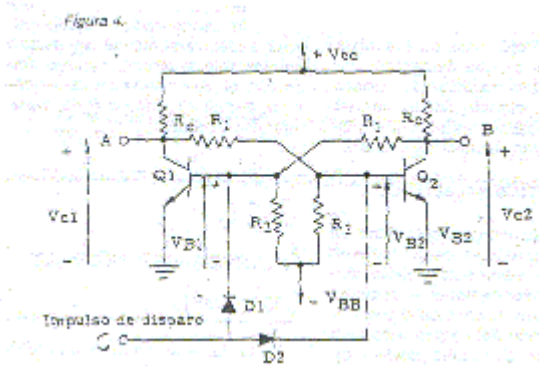
El circuito estable tiene también dos estados de funcionamiento, siendo ambos semiestables. Sin necesidad de una señal de disparo exterior, la configuración estable pasará sucesivamente de un estado semiestable a otro.

2.1 Multivibrador biestable (FLIP-FLOP).

Los dos posibles estados estables de funcionamiento del flip-flop son los siguientes:

1. El transistor Q1 conduce a saturación y Q2 está bloqueado.
2. El transistor Q1 está bloqueado y Q2 conduce a saturación.

El funcionamiento del biestable siendo las salidas del mismo los puntos A y B y la entrada a la que se aplica el impulso de disparo, el punto C, conectada directamente a las bases de ambos transistores.



Supóngase, en un principio, que no se ha aplicado ningún pulso de disparo a la entrada del F/F. Debido a las variaciones en la tolerancia de los componentes, efecto de la temperatura, etc. Un transistor conducirá antes que el otro o conducirá más intensamente que el otro. Si debido a esto, como se dijo al principio, el transistor Q1 está conduciendo más intensamente que el Q2, la corriente de base de Q1 será mayor que la de Q2. La corriente de colector de Q1 aumenta rápidamente, causando la caída de tensión entre colector y emisor de un transistor conduciendo hacia la saturación

tiende a ser prácticamente despreciable, con lo que el colector de Q1 tiende a tomar el potencial a masa. Este nivel de tensión se tiene, pues, en la salida A, y al mismo tiempo se aplica a través de R1 a la base del

transistor Q2, disminuyendo la polarización directa de este, ocasionando una rápida disminución de la corriente de base y corriente del colector y llevando, el colector, punto B, hacia la tensión de alimentación Vcc. Este voltaje, más positivo, se alimenta por R, a la base de Q1, aumentando la polarización directa de éste.

Todo el proceso anterior se repite, rápidamente hasta alcanzar un punto en el que el voltaje en la base de Q2 es prácticamente nulo, bloqueándolo debido a que queda inversamente polarizado, apareciendo en el colector la tensión de alimentación Vcc (salida B), mientras que Q1 se satura, ya que esta polarizado directamente, quedando al punto A, colector de Q1, conectado a masa.

En definitiva, aumenta la corriente a través de Q1 hasta la saturación, al tiempo que disminuye la Q2 hasta la condición de corte.

Ahora, la aplicación de un impulso de disparo en el punto C, entrada del F/F, permite el cambio de estado del biestable realizándose del siguiente modo:

Si el impulso de disparo es positivo, de todo lo expuesto anteriormente se deduce que el diodo D1 queda inversamente polarizado, mientras que el D2 lo está directamente, por lo que el impulso positivo es aplicado a la base de Q2, que se encuentra bloqueado, lo cual provoca que este transistor pase a conducción. La subida de la corriente de colector de Q2 provoca la caída en el mismo tendiendo a llevarle a la tensión de emisor. Este cambio de voltaje se acopla a la base de Q1 reduciendo su polarización directa; comenzando a disminuir su conducción, la corriente de colector disminuye y aumenta su tensión teniendo a Vcc. Esta variación de voltaje de colector que Q1 se acopla a la base de Q2, aumentando la polarización directa y su conducción.

Durante el rápido periodo de transmisión, los dos transistores conducen; en uno (Q2) la conducción va aumentando hasta llevarlo a la saturación y el otro (Q1) va disminuyendo hasta llevarle a la posición de bloqueo.

Un segundo de pulso aplicado en el punto C polariza directamente a D1 e inversamente a D2, con lo cual se aplica directamente a la base de Q1 que está ahora bloqueado, provocando su posición de bloqueo, provocando su condición. Tras un transitorio, Q1 pasará a condición de saturación y Q2 a corte, en virtud del proceso antes descrito; pero teniendo en cuenta que los dos transistores están en distinto estado al anterior.

Una sucesión de pulsos positivos va cambiando alternativamente de estado a Q1 y Q2 pasándoles del corte a saturación y viceversa.

En el caso de aplicarse impulsos negativos, los diodos se tendrán que invertir, aplicándose en este caso el impulso negativo a base del transistor que está conduciendo, llevándolo a la posición de bloqueo, funcionando el F/F de la misma forma antes descrita.

Si en vez de tener una sola entrada (punto C), se tuvieran por separado dos entradas conectadas a las bases de Q1 y Q2, se provocarían los cambios de estado con impulsos de disparo positivos o negativos aplicados a los transistor cortado o saturado respectivamente. Es decir, un disparo positivo aplicado a la base del transistor cortado o uno negativo a la base del saturado provocará la transición inicial. La segunda transición se provocaría con la aplicación de un impulso negativo al primero o uno positivo al segundo.

Aplicaciones.

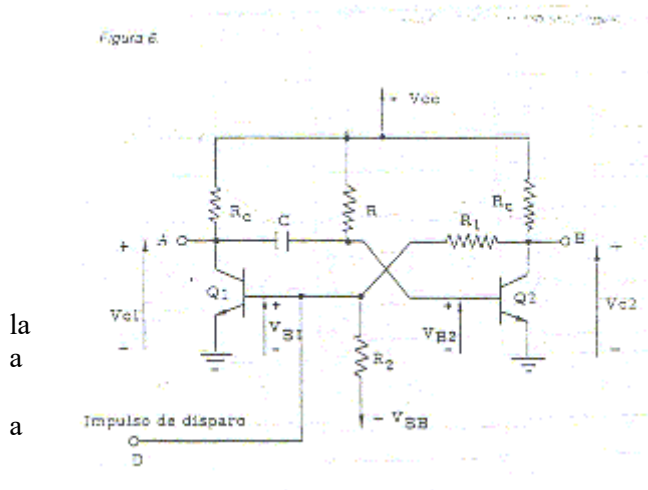
Su aplicación se concentra principalmente en dispositivos que precisen de dos estados definidos y variables mediante un serie de impulsos externos. Se suelen utilizar en contadores binarios y, en general, en casi todas las aplicaciones binarias.

2.2 Multivibrador monoestable.

En este circuito el estado estable se alcanza cuando el transistor Q1 está bloqueado y Q2 está en saturación.

Los dispositivos de polarización y de regeneración del transistor mantiene a Q2 en saturación y a Q1 bloqueado durante el periodo de estado de reposos o constante de tiempo. La batería VCC proporciona la tensión de polarización de los colectores de los transistores y la polarización directa de Q2 (transistor en polarización durante el periodo de reposo). El potencial en el punto B, al estar Q2 en saturación, es cero, ya que el colector está prácticamente a la tensión de emisor. La polarización inversa proporcionada por $-V_{BB}$ y la caída de tensión por R2 mantiene bloqueado a Q1, con lo que el potencial en A, colector de Q1 es igual a Vcc. El condensador C proporciona la aplicación rápida de la señal regenerativa del colector de Q1 a la base de Q2 cargándose a Vcc a través de Rc y de la unión base-emisor de Q2 prácticamente a tierra al estar polarizado directamente.

Si se aplica un impulso de disparo positivo por la entrada D a la base Q1, empieza este a conducir. El voltaje positivo existente en el colector empieza a descender, teniendo a cero, ya que se aproxima a la tensión de emisor. Esta tensión se acopla a la base de Q2 disminuyendo su polarización directa con lo cual la corriente de base y la de colector empiezan a disminuir, aumentando el voltaje del colector hacia Vcc. Este voltaje se acopla a la base de Q1 aumentando su potencial positivo y aumentando su conducción. Esta regeneración produce un cambio rápido en ambos transistores, excita a Q1 a la saturación y bloquea a Q2.



Como el condensador C estaba inicialmente cargado a un potencial casi igual al de la batería (Vcc), la base del transistor Q2 está a potencial negativo casi igual a la magnitud del voltaje de la batería Vcc. El condensador se descarga por la resistencia R y la baja resistencia de saturación de Q1. El potencial de la base Q2 se hace menos negativo y cuando llegue a hacerse ligeramente positivo, el transistor Q2 conducirá acoplándose a base Q2 se hace menos negativo y cuando llegue a hacerse ligeramente positivo, el transistor Q2 conducirá acoplándose a la base de Q1, excitando éste al bloqueo. En este momento Q1 está de nuevo al corte y Q2 está en saturación con su voltaje de colector prácticamente cero. Esta

condición estable se mantiene hasta que otro impulso dispara el circuito.

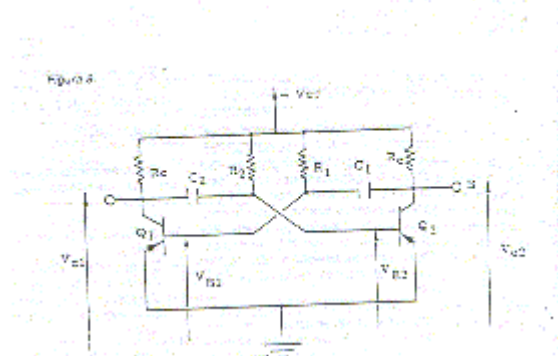
Aplicaciones.

En cuanto a las aplicaciones, se relacionan a continuación las consideradas más típicas:

- Conformación de ondas en sistemas digitales, estandarizando impulsos de anchura y amplitud aleatorias.
- Regeneración de impulsos deformados por el sistema de transmisión.
- Introducción de retardos de impulsos digitales.
- Generación de impulsos con anchura controlable, pero sincronizados con una fuente exterior de impulsos.

2.3 Multivibrador estable.

En la fig se representa el esquema de un MV acoplado por el colector y que se emplea transistores PNP en su realización . Como utiliza acoplamiento por capacidad entre etapas, ningún transistor puede permanecer cortado permanentemente. Por el contrario, el circuito tiene dos estados semiestables y realiza transmisiones periódicas entre estos estados.



Supóngase en un principio que el transistor Q2 se encuentra en saturación y el Q1 bloqueado. El condensador C1 se carga a través de R1 con lo que la tensión de base de Q1 cae rápidamente hacia $-V_{cc}$. Alcanzada la tensión de arranque Q1 comienza a conducir. Al ir Q1 hacia la saturación, la tensión de colector tiende a cero (tensión de emisor) acoplándose a la base de Q2 mediante el condensador C2, y provocando este salto el corte de Q2, con lo que la tensión de colector de este transistor cae $-V_{cc}$. Esta caída se acopla ahora mediante C1 a la base de Q1. En

este momento el condensador C2 el que se carga a través de R2 con lo que la tensión de base Q2 cae rápidamente a $-V_{cc}$. Alcanzada la tensión de arranque Q2 comienza a conducir, con lo cual y por las razones antes expuestas acaba bloqueándose Q1. El ciclo se repite indefinidamente.

Aplicaciones.

- Generación de ondas cuadradas (reloj).
- División de frecuencias.
- Convertidor tensión-frecuencia.
- Generación de ondas cuadradas en sincronismo con una señal exterior.

2.4 Diferencias entre los tres multivibradores.

Las diferencias existentes entre ellos y que se pueden clasificar en cuatro: fuentes de alimentación, sistemas de acoplo, cambio de estado y tiempo en cada estado.

A) Fuentes de alimentación

Biestable: necesita, además de la batería de alimentación (V_{cc}) común a los tres, una nueva batería V_{bb} de polarización contraria a V_{cc} , para la polarización de las bases de Q1 y Q2.

Monoestable: este circuito también necesita una fuente V_{bb} de polarización contraria a la de alimentación V_{cc} , para la polarizar la base Q1 en estado de corte.

Estable: sólo necesita la fuente de alimentación V_{cc}

B) Sistema de acoplo.

Biestable: los elementos de acoplo están constituidos por resistencias (R_1). Conviene tener en cuenta que, en todos los casos en que las uniones son resistivas, se encuentra colocado un condensador en paralelo con las resistencias correspondientes.

Monoestable: uno de los acoplos entre transistores es capacitivo (C) y el otro (R_1).

Estable: los dos sistemas de acoplo entre transistores son capacitivos (C_1 y C_2).

C) Cambio de estado.

Biestable: para cada cambio de estado necesita un impulso. Un impulso hará pasar Q1 al estado de corte y Q2 al de saturación y seguirá así hasta que otro impulso devuelva Q1 al estado de saturación y Q2 al de corte.

Monoestable: necesita un solo impulso para pasar el transistor Q_1 al estado de corte y Q_2 al de saturación y seguirá así hasta que otro impulso devuelva Q_1 al estado de saturación; por si solo y al cabo de un tiempo (determinado por el condensador C), volverá cada transistor a su estado primitivo.

Estable: no necesita ningún impulso para cambiar de estado. El cambio se realiza por la carga y descarga de los condensadores C_1 y C_2 .

D) Tiempo en cada estado.

Biestable: depende únicamente de la frecuencia de los disparos exteriores.

Monoestable: el tiempo en el estado estable depende de los impulsos de disparo. En el estado inestable el tiempo depende, como ya se indicó anteriormente, de la capacidad de C .

Estable: el tiempo en cada uno de los dos estados inestables depende de las respectivas capacidades de los elementos de acoplo (C_1 y C_2).

3. CIRCUITO DISPARADOR SCHMITT.

Se observa que se trata de un amplificador acoplado por los emisores de los transistores, cuya diferencia con los biestables estriba en la no existencia del acoplamiento entre el segundo transistor y la base del primero. El camino de realimentación se obtiene ahora vía la resistencia común de los emisores. En esencia el circuito funciona como discriminador de la amplitud de la tensión de entrada.

El funcionamiento depende de la existencia de dos establos, discriminados de salida estables y de la acción de mando proporcionada por la tensión de entrada. El circuito está diseñado de modo que los transistores no puedan conducir al mismo tiempo.

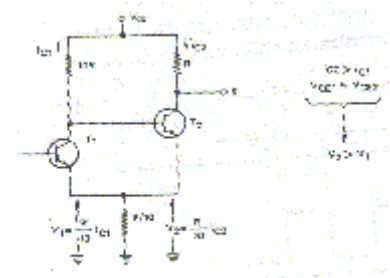


Figura 10. Circuito disparador de Schmitt.

Aplicaciones.

De entre las aplicaciones típicas del circuito en cuestión, la más característica es la utilización como regenerador de impulsos ya que permite restablecer los niveles lógicos originales, a partir de impulsos que han sufrido una cierta deformación, por causas como puede ser su transmisión por cable, etc.